



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑬ PATENTSCHRIFT A5

⑭ Gesuchsnummer: 3057/85

⑮ Inhaber:
West Electronic AG, Dulliken

⑯ Anmeldungsdatum: 15.07.1985

⑰ Erfinder:
Sturm, Werner, Aarau

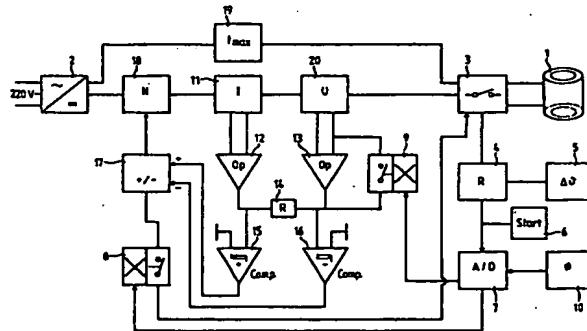
⑱ Patent erteilt: 31.01.1989

⑲ Vertreter:
Patentanwaltsbüro Frei, Zürich

⑳ Verfahren und Vorrichtung zur Verschweissung von Kunststoff-Formteilen.

㉑ Die Verschweissung von Kunststoff-Formteilen mit einem elektrisch beheizten Heizelement (1) erfolgt mit steuerbarer Leistungszufuhr (2, 18), unter Einbeziehung von Temperaturmessungen (5) am Heizelement. Das Heizelement (1) wird zunächst auf die gewünschte Schweißtemperatur aufgeheizt. Anschliessend erfolgt die Leistungszufuhr an das Heizelement in Intervallen, wobei die Einschaltzeiten entsprechend definierter Funktionskurven (7) solange verkürzt werden, bis der Zeitintervall-bezogene Leistungswert einen vorgegebenen unteren Grenzwert erreicht oder unterschreitet. Ist dieses Kriterium erfüllt, wird das Heizelement von der Leistungszufuhr abgeschaltet (3). Der Vorteil dieser Massnahmen liegt im wesentlichen in der präziseren Steuerung der dem Heizelement zugeführten Leistung aufgrund von Temperaturmessungen am Heizelement, und zwar nach einem weitgehenden Ausgleich des Temperaturgefälles zwischen dem Heizelement und der Schweißstelle. Dadurch ergibt sich eine zuverlässigeren und präziseren Temperaturmessungen. Es werden besonders einfache schaltungstechnische Lösun-

gen für entsprechende Schweiss-Geräte bzw. deren Steuerungen angegeben.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Verschweissung von Kunststoff-Formteilen mit einem elektrisch beheizten Heizelement, wobei die dem Heizelement zugeführte Leistung unter Einbeziehung von Temperaturmessungen am Heizelement steuerbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizelement zunächst auf die gewünschte Schweißtemperatur aufgeheizt wird und dass die Leistungszufuhr an das Heizelement anschliessend in Intervallen erfolgt, wobei die Einschaltzeiten entsprechend definierten Funktionskurven so lange verkürzt werden, bis der Zeitintervall-bezogene Leistungswert einen vorgegebenen unteren Grenzwert erreicht oder unterschreitet, worauf das Heizelement von der Leistungszufuhr abgeschaltet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungszufuhr an das Heizelement mit konstanter Pulsfolgefrequenz erfolgt und dass die Pulsbreite monoton abnehmend geführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter der Funktionskurve, welche als Führungskurve für die Steuerung der Leistungszufuhr an das Heizelement dient, durch mindestens eine Widerstandsmessung am Heizelement, unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur und der Wärmeleitungs-eigenschaften zwischen dem Heizelement und der Schweißstelle bzw. des zu verschweisenden Materials festgelegt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Widerstandsmessung am Heizelement vor dem Einschalten der Heizleistung vorgenommen wird, dass aufgrund des gemessenen Wertes unter Einbezug weiter Parameter eine Steuerfunktion festgelegt wird und dass während des anschliessenden Heizvorganges Strom und Spannung im Leistungszweig gemessen werden, die Messwerte mit der zuvor festgelegten Funktionskurve verglichen werden und Abweichungen zum Nachsteuern der Heizleistung herangezogen werden.

5. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einem elektrisch beheizten Heizelement, einem im Heizkreis angeordneten Leistungssteuerglied und einer an das Heizelement angeschlossenen Widerstandsmeesseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass an die Widerstandsmeesseinrichtung (4, 27) speicherfähige Elemente (8, 9, 23) angeschlossen sind, welche zur Speicherung von Spannungs-, Strom- und Zeitinformationen ausgebildet sind, wobei diese Informationen unterschiedliche Leistungssteuerungs-Funktionen definieren, und dass die speicherfähigen Elemente mit dem Steuereingang des Leistungssteuergliedes (18, 24) in Wirkverbindung stehen.

6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Heizkreis zusätzlich ein steuerbarer Trennschalter (3, 25) vorgesehen ist, wobei der Steuereingang des Trennschalters von den speicherfähigen Elementen (8) beeinflussbar ist.

7. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Widerstandsmeesseinrichtung und den speicherfähigen Elementen Analog/Digital-Wandler (7, 28) vorgesehen sind.

8. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Heizkreis Spannungs- und Strommesseinrichtungen (10, 11) vorgesehen sind, deren Ausgänge einem Vergleicher (12-16) zugeführt sind, und dass der Ausgang des Vergleichers mit dem Steuereingang des Leistungssteuergliedes (18) zur Nachsteuerung der Heizleistung in Verbindung steht, wobei die Nachsteuerung Abweichungen von der anfänglich festgelegten Steuerfunktionskurve kompensiert.

9. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass als speicherfähige Elemente programmierbare Schalter (8, 9) vorgesehen sind, welche zur Berücksichtigung von digitalisierten Werten für Strom, Spannung und Impulsbreite (t_2-t_1) ausgebildet sind.

10. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zeitabhängige Schaltmittel (19) zum Unterbrechen des Heizkreises nach Ablauf einer einstellbaren Zeit vorgesehen sind, welche das Leistungssteuerglied (18) überbrücken.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verschweissung von Kunststoff-Formteilen, gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Eine bevorzugte Verwendung findet das beschriebene Verfahren bzw. die Vorrichtung bei der Erstellung von Rohrleitungen aus schweißbarem Kunststoff. Dabei werden Rohrleitungselemente oder ähnliche Kunststoffteile unter Einsatz eines elektrisch beheizten Widerstandsschweißgerätes miteinander verbunden. Zum Verbinden von Rohrteilen werden sogenannte Rohrmuffen verwendet, in welche die zu verbindenden Rohrteile eingesetzt werden, so dass die Enden aneinanderstossen oder einander überlappen. Die Rohrmuffen enthalten im Verbindungsreich ein elektrisch betriebenes Heizelement, welches mit einem Steuergerät in Verbindung steht. Unter dem Einfluss des Heizelementes wird der Kunststoff im Übergangsbereich der zu verbindenden Teile zum Schmelzen gebracht und dadurch die Verschweissung dieser Teile erreicht.

Bei diesem Verfahren ist der Dosierung der Heizenergie eine besondere Beachtung zu schenken, insbesondere im Hinblick auf die relativ kritische Temperatur, welche Voraussetzung für eine optimale Schweißverbindung ist. Wird die Temperatur nicht vollständig oder nicht gleichmäßig erreicht, ist die Verschweissung nur unvollkommen, was insbesondere bei eingelassenen Rohrsystemen im Bauwesen zu schwerwiegenden Folgen führen kann. Ähnlich folgenschwer kann sich eine Überhitzung der Schweißbereiche auswirken, wobei Kunststoff aus dem Schweißbereich auslaufen oder sich gar chemisch zersetzen kann, so dass Löcher an denjenigen Stellen entstehen, die eigentlich hätten dicht verbunden werden sollen.

Es wurden bereits verschiedene Vorschläge gemacht, welche die selbsttätige Einhaltung einer bestimmten Temperatur an der Schweißstelle oder einer bestimmten Heizenergie für das Heizelement sicherstellen sollen. Beispielsweise ist aus der CH-PS 602 310 eine Vorrichtung zum Regeln der Temperatur von dauerbeheizten Bändern zum Schweißen von Kunststofffolien oder ähnlichem bekannt, bei welchem Spannungs- und Stromwerte des Schweißbandes einem Quotientenbildner eingegeben werden. Der so gebildete Quotient wird als Ist-Wert einem Regler zugeführt, der die Leistung des Heizstromkreises entsprechend der Abweichung des Ist-Wertes von einem vorgegebenen Soll-Wert anpasst. Dabei wird die bekannte Tatsache benutzt, dass der elektrische Widerstand des verwendeten Heizelementes, welcher dem Quotient aus Spannung und Strom entspricht, temperaturabhängig ist und dementsprechend bei Kenntnis des spezifischen Widerstandes bzw. seiner Temperaturabhängigkeit ein Indikator für die jeweilige Temperatur am Heizelement ist. Der Quotient wird einem Regler im Heizstromkreis zugeführt, dessen Einfluss die Temperatur am Heizelement konstant halten soll.

Die bisher bekannten Massnahmen zur Regelung der Temperatur am Heizelement sind jedoch insofern ungenügend, als der Temperaturausgleich zwischen dem Heizelement und dem zu verschweisenden Kunststoffmaterial, insbesondere bei relativ schnellem Aufheizen, variiert, wodurch die Temperaturmessung am Heizelement nicht unter allen Umständen ein genaues Bild von der Temperatur an der Schweißstelle liefert. Damit ist gerade bei extremen Bedingungen die Qualität der Verschweissung in Frage gestellt.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass die Qualität der Schweißungen in einem breiteren Anwendungsbereich auch unter extremen Bedingungen merklich verbessert werden kann und damit die Zuverlässigkeit der Schweißungen unter allen praktisch auftretenden Bedingungen gewährleistet ist, so dass zusätzliche Prüfvorgänge, z.B. auf Dichthalten der Verbindung, überflüssig werden.

Diese Aufgabe wird erfungsgemäss durch die in den Ansprüchen 1 und 5 definierten Merkmale gelöst.

Der Vorteil dieser Massnahmen liegt im wesentlichen in der präziseren Steuerung der dem Heizelement zugeführten Leistung auf-

grund von Temperaturmessungen am Heizelement, welche ein besseres Abbild der wahren Temperatur-Verhältnisse an der Schweißstelle sind. Eine entscheidende Voraussetzung für das Lösungskonzept ist das Einbeziehen der Wärmeausgleichsvorgänge zwischen dem Heizelement und der Schweißstelle bei der Bestimmung der Steuerungsparameter. Dadurch ergibt sich eine zuverlässigere Steuerung der Heizleistung aufgrund aussagekräftigerer und präziserer Temperaturmessungen, und es ergeben sich besonders einfache schaltungs-technische Lösungen für entsprechende Schweiß-Geräte bzw. deren Steuerungen.

Im folgenden werden Einzelheiten der Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele mit Hilfe der Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm zur Erläuterung des Verfahrens,

Fig. 2 ein erstes Ausführungsbeispiel für ein Steuergerät nach der Erfindung, und

Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemässes Steuergerät.

Im folgenden wird zunächst kurz das Prinzip der vorliegenden Erfindung erläutert. Obwohl als bevorzugtes Anwendungsbeispiel gelegentlich auf die Herstellung von Verbindungen mit Schweißmuffen hingewiesen wird, ist die Erfindung nicht auf dieses Gebiet beschränkt. Die beschriebenen Merkmale für das Verfahren sowie für entsprechende Steuerungsgeräte können in allen Bereichen eingesetzt werden, welche das Schweißen von Kunststoffteilen betreffen.

Wie bereits einleitend erwähnt, erfolgt die Wärmezufuhr an die Schweißstelle über ein elektrisch beheiztes Heizelement, welches beispielsweise durch einen Widerstandsheizdraht gebildet ist. Die Wärmeenergie wird der Schweißstelle nach den bekannten Regeln der Wärmeleitung übertragen. Die Bedingungen für die Wärmeleitung hängen im vorliegenden Fall vom zu verschweisenden Material, von der Geometrie des Systems und den Thermopotentialunterschieden zwischen dem Heizelement und der Schweißstelle ab.

Die Energiezufuhr für das Heizelement wird auf bekannte Weise dann unterbrochen, wenn aufgrund ausgewählter Messkriterien festgestellt oder erwartet wird, dass die Schweißstelle die gewünschte Temperatur erreicht hat. Im vorliegenden Fall wird dazu die an sich bekannte Temperaturabhängigkeit des einen ohmschen Widerstand darstellenden Heizdrähtes herangezogen. Dabei werden die Art und der Verlauf der Temperaturabhängigkeit des jeweils verwendeten Widerstandsmaterials als bekannt vorausgesetzt. Besonders einfach sind die Verhältnisse beispielsweise für ein Widerstandselement, dessen spezifischer Widerstand nur in sehr geringem Mass oder nach einfacher Gesetzmässigkeit von der Temperatur und damit von der Belastung abhängt (z.B. «Resistherm» o. dgl.). Für solche Materialien kann nach Erreichen einer Anfangstemperatur in dem hier interessierenden Temperaturbereich mit einem praktisch linearen Zusammenhang zwischen Temperatur und ohmschem Widerstand gerechnet werden.

Zu Beginn der Schweißung weist die Schweißstelle eine relativ niedrige Temperatur auf. Im allgemeinen entspricht die Anfangstemperatur der Umgebungstemperatur. Das Heizelement wird am Anfang relativ stark aufgeheizt, so dass sich eine erhebliche Differenz der Wärmeenergie-Potentiale zwischen dem Heizelement und der Schweißstelle ergibt. Dieser anfänglich hohe Temperaturgradient bewirkt einen hohen Energiefloss vom Heizelement in das zu verschweisende Kunststoffmaterial. Wegen der nur mässigen Wärmeleitung des Kunststoffmaterials nimmt der materialinterne Wärmeausgleich, welcher schliesslich zum gleichmässigen Schmelzen des Materials führen soll, eine gewisse Zeit in Anspruch. In dieser Phase des Aufheizprozesses bestünde ohne Anwendung der erfindungsgemässen Lehre die Gefahr, dass gerade bei anfänglich schneller Aufheizung eine Temperaturmessung am Widerstandselement alles andere als das gewünschte Abbild der Schweißstellen-Temperatur darstellt. Bekannte Regelungen oder Steuerungen, welche eine Stellgrösse oder Führungssignale aus solchen Messungen ableiten, sind besonders in Extremsituationen wegen dieser Erscheinung stark feh-

leranfällig. Andererseits ist es aus praktischen Erwägungen nicht erwünscht, einen Thermofühler direkt an der Schweißstelle anzubringen.

Die erfindungsgemäss Lehre sieht nun angesichts der zuvor beschriebenen Erkenntnis vor, die Leistungszufuhr an das Heizelement gegen Ende der Aufheizperiode stufenweise zu reduzieren, insbesondere die Aufheizung in zeitlich gestaffelten Intervallen vorzunehmen, wobei die Einschaltintervalle z.B. monoton verkürzt werden, bis sich aufgrund besonderer Messkriterien ergibt, dass sich das Wärmepotential der Schweißstelle nur noch um einen unwesentlichen Betrag, entsprechend einer vorgegebenen Toleranz, von dem der Heizwicklung zugeführten Wärmepotential unterscheidet. Ist dieses Kriterium erfüllt, wird die Energiezufuhr an das Heizelement automatisch unterbrochen. Die erwähnten Messkriterien werden aufgrund zuvor ermittelter materialbezogener Parameter, unter Berücksichtigung aktueller Prozess-spezifischer Messwerte, abgeleitet. Einzelheiten dazu ergeben sich aus der späteren Beschreibung von bevorzugten Gerätebeispielen, welche zur Ausführung des beschriebenen Verfahrens dienen.

20 Zur erwähnten Temperaturmessung am Heiz- bzw. Widerstands-element sei der Vollständigkeit wegen auf die an sich bekannten physikalischen Tatsachen verwiesen. Die dem Heizelement zugeführte elektrische Leistung

$$N = U \times I \quad (U = \text{Spannung}, I = \text{Strom})$$

ergibt über die Zeit t , in welcher diese Leistung erbracht wird, die Arbeit, in diesem Fall die dem Element zugeführte Wärmemenge. Unter der Annahme, dass die Wärmeverluste beim Übergang vom Heizelement zur Schweißstelle vernachlässigbar gering gehalten werden können, entspricht der Ausdruck

$$A = U \times I \times t$$

gleichzeitig der Wärmemenge, welche der Schweißstelle zugeführt wurde. Durch eine Steuerung der elektrischen Leistung wird also wegen der direkten Proportionalität eine Steuerung der zugeführten Wärmemenge erzielt. Die Leistungssteuerung kann beispielsweise durch eine Stromsteuerung bei bekanntem Spannungsverhalten vorgenommen werden.

Das Widerstandselement des Heizkörpers erfüllt neben der reinen Heizwirkung auch die Aufgabe eines Temperaturfühlers. Wegen der obenerwähnten Temperaturabhängigkeit seines ohmschen Widerstandes wird durch eine laufende Messung des aktuellen ohmschen Widerstandes R während der Aufheizperiode der Verlauf der jeweils herrschenden Temperatur am Heizelement erfasst. Im vorliegenden Fall wird aus Gründen erhöhter Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit die Widerstandsmessung vorzugsweise nach der Brückensmethode vorgenommen.

Im einzelnen wird zunächst eine Widerstandsmessung am kalten Heizelement vorgenommen. Aufgrund dieser Messung wird die für eine einwandfreie Verschweissung benötigte Wärmemenge $U \times I \times t$ festgelegt. Das erhaltene Messergebnis wird mit einem Faktor korrigiert, welcher der momentanen Umgebungstemperatur entspricht. Spannungswerte U , Stromwerte I und die Heizzeit t werden festgehalten, z.B. gespeichert oder zum Setzen programmierbarer Schalter benutzt. Im Verlauf der anschliessend beginnenden Aufheizung wird das Heizelement bei Erreichen der vorgegebenen Temperatur mit immer kürzer werdenden Wärmemengen beheizt, wodurch der Wärmeübergang zwischen dem Heizelement und dem zu verschweisenden Material zu einem Angleichen der Temperaturen in beiden Teilen führt. Sobald eine Messeinrichtung diesen Zustand aus entsprechenden Vergleichsmessungen erkennt, wird die Leistungszufuhr vom Heizelement endgültig abgeschaltet.

Die Führung der Leistungssteuerung erfolgt entlang dem linear abfallenden Teil des in Fig. 1 gezeigten Spannungs-/Strom-Diagramms. Dies bedeutet, dass die Führung entlang $R = \text{const}$, d.h. also entlang konstanter Temperatur am Heizelement erfolgt. In diesem Diagramm bedeutet Punkt A das Erreichen der vorgegebenen Schweißtemperatur am Heizelement, im Beispiel 250°C. Ab diesem Zeitpunkt wird das Heizelement durch entsprechendes Führen einer Leistungssteuerung konstant auf dieser Temperatur ge-

halten. Dies geschieht beispielsweise durch eine entsprechend geführte Stromregelung. In Fig. 1 sind zur Verdeutlichung der Vorgänge vertikale Hilfslinien eingezeichnet, welche gleich lange Zeitsperioden entlang der Stromachse begrenzen. Die angeschriebenen Leistungswerte lassen die verminderte Leistungszufuhr während aufeinanderfolgender Perioden erkennen. Durch diese Massnahme stellt sich im Verlauf der Zeit ein Temperaturausgleich zwischen dem Heizelement und der Schweißstelle ein. Erreicht der erwähnte Leistungswert eine vorgegebene untere Schwelle, welche praktisch gleiche Temperaturen am Heizelement und an der Schweißstelle annehmen lässt, wird die Leistungszufuhr an das Heizelement unterbrochen.

In ihrer Kombination ergeben diese Massnahmen eine überraschend zuverlässige Dosierung der für eine einwandfreie Schweißung erforderlichen Wärmemenge.

Stellvertretend für die Vielfalt möglicher Ausführungsformen für Schweiß- bzw. Steuerungsgeräte, welche entsprechend dem beschriebenen Verfahren ausgelegt sind, werden im folgenden zwei besonders bevorzugte Ausführungsformen beschrieben. Das erste Beispiel ist stärker auf die Verwendung diskreter Bauteile ausgerichtet, während das zweite Beispiel eine hochintegrierte Ausführungsform eines Steuergerätes darstellt.

Gemäß Fig. 2 ist für die Schweißung von Rohrteilen eine elektrisch beheizbare Schweißmuffe 1 vorgesehen. Die Muffe wird von einer Stromversorgung 2 über ein Leistungssteuerelement 18 und einen steuerbaren Schalter 3, z.B. ein Relais, versorgt. An die Muffe 1 ist ferner ein Messkreis angeschlossen, der aus einer Widerstandsmühle 4, einem mit diesem verbundenen oder zusammenwirkenden Umgebungstemperaturfühler 5, einem Startschalter 6 sowie einem Analog/Digital-Wandler 7 mit daran angeschlossener Durchmesser-Anzeige 10 besteht.

Nach Anschluss der Muffe 1 an den Schaltkreis wird zunächst ihr Kaltwiderstand gemessen und entsprechend der Umgebungstemperatur gewichtet. Der ermittelte korrigierte Wert wird im A/D-Wandler 7 der erforderlichen Wärmemenge zugeordnet. Der Ausgang des A/D-Wandlers ist mit programmierbaren Schaltern 8 und 9 verbunden. Diese Schalter steuern im wesentlichen das Zeitverhalten für die Leistungszufuhr an die Muffe 1 aufgrund der vom A/D-Wandler 7 erhaltenen Daten.

In der Versorgungsleitung zwischen der Stromversorgung 2 und der Muffe 1 sind ein Stromsensor 11 und ein Spannungssensor 20 angeordnet. Der Ausgang des Stromsensors 11 ist auf einen ersten Operationsverstärker 12 geführt. An den Spannungssensor 20 ist ein zweiter Operationsverstärker 13 angeschlossen. Die Ausgänge beider Operationsverstärker sind mit einem Widerstand 14 verbunden, des-

sen Spannungsabfall von ersten und zweiten Komparatoren 15 bzw. 16 erfasst wird. Mit Hilfe des zweiten programmierbaren Schalters 9 lässt sich eine Eichung der Spannung am Widerstand 14 derart durchführen, dass bei Erreichen des gewünschten Warmwiderstandes an der Muffe 1 die Ausgangsspannungen der beiden Operationsverstärker 12 und 13 gleich gross sind.

Bei einer Änderung des Warmwiderstandes an der Muffe 1 tritt am Widerstand 14 ein Spannungsabfall auf, wodurch über die Komparatoren 13 und 16 ein Stromsteuerelement 17 beeinflusst wird, welches die Nachsteuerung der Leistungssteuerung 18 vornimmt. Dies erfolgt so lange, bis am Ausgang beider Operationsverstärker gleich grosse Ausgangsspannungen auftreten.

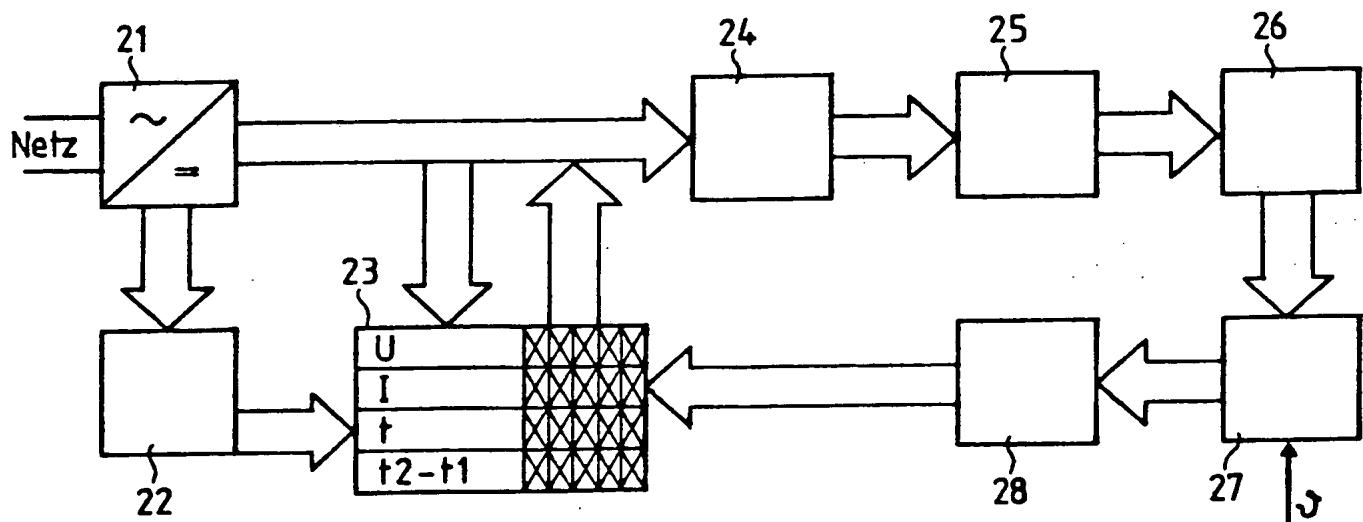
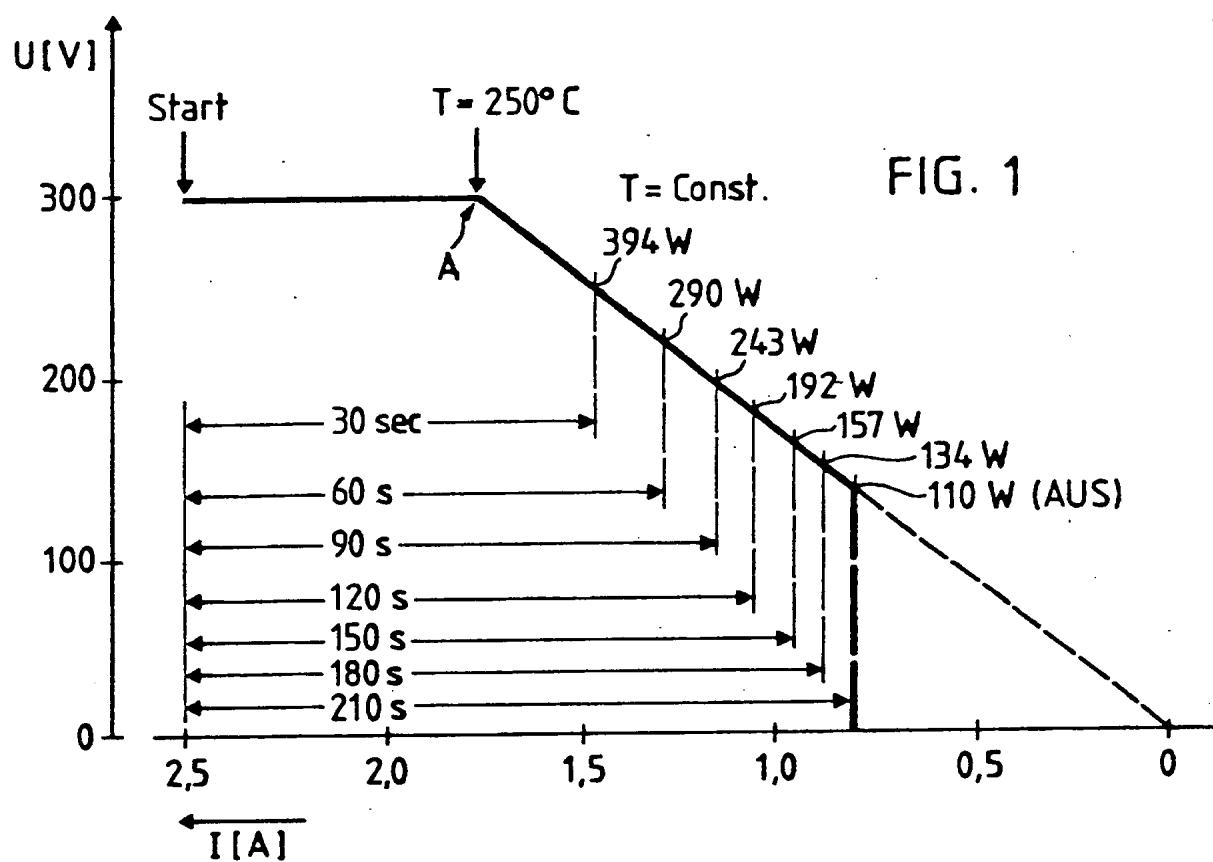
Hat sich schliesslich unter dem Einfluss des ersten programmierbaren Schalters 8 der Heizstrom für die Muffe 1 derart verringert, dass er dem programmierten Wert entspricht, wird der steuerbare Schalter 3 geöffnet, worauf die Muffe 1 vom Heizkreis abgeschaltet wird. Als Sicherheitselement ist ein Zeitüberwachungsblock 19 vorgesehen, welcher bei Überschreiten einer vorgegebenen Zeitspanne t_{max} den steuerbaren Schalter auf trennt, falls bis dahin die beschriebene Steuerung die Abschaltung noch nicht ausgelöst haben sollte.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 enthält wiederum eine Stromversorgung 21, welche über einen Spannungs- oder Stromregler 24 und einen steuerbaren Schalter 25 eine Muffe 26 speist. Die Ermittlung des Kaltwiderstandes erfolgt in einer Widerstandsmessbrücke 27. In dieser Brücke wird auch der Einfluss der Umgebungstemperatur berücksichtigt. Der ermittelte Wert wird in einem A/D-Wandler 28 umgesetzt. Der A/D-Wandler liefert die Speicherwerte U, I, t und t_2-t_1 an einen Speicher 23, wobei der letzte Wert die Impulsbreite der Leistungsimpulse für die Muffe bedeutet.

Sobald die Messwerte U, I und t_2-t_1 ihre gespeicherten Werte erreicht haben, wird der Schalter 25 angesteuert und die Muffe 26 von der Versorgung abgetrennt.

Mit Hilfe der im Speicher 23 gespeicherten Zeit t, welche von einem Zeitüberwachungsblock 22 abgeleitet ist, kann eine Gesamtüberwachung des Gerätes erfolgen, falls keine durch die Werte U, I und t_2-t_1 beeinflusste Abschaltung erfolgen sollte.

Unter Verwendung eines kleinen Rechnermoduls werden beispielsweise die erwähnten Funktionen der einzelnen Baugruppen gesteuert. Dabei wird die fortlaufende Bildung von $U \times I$ veranlasst und der Quotient $(U \times I)/(t_2-t_1)$ gebildet, wobei t_2-t_1 ein vorgegebenes konstantes Zeitintervall darstellt. Dieser Quotient wird laufend mit einem Schwellenwert verglichen, z.B. mit $(U_s \times I_s)/(t_2-t_1)$. Sobald der erste, aus dem Messwert gewonnene Quotient kleiner wird als die vorgegebene Schwelle, wird die Heizung der Muffe abgeschaltet.



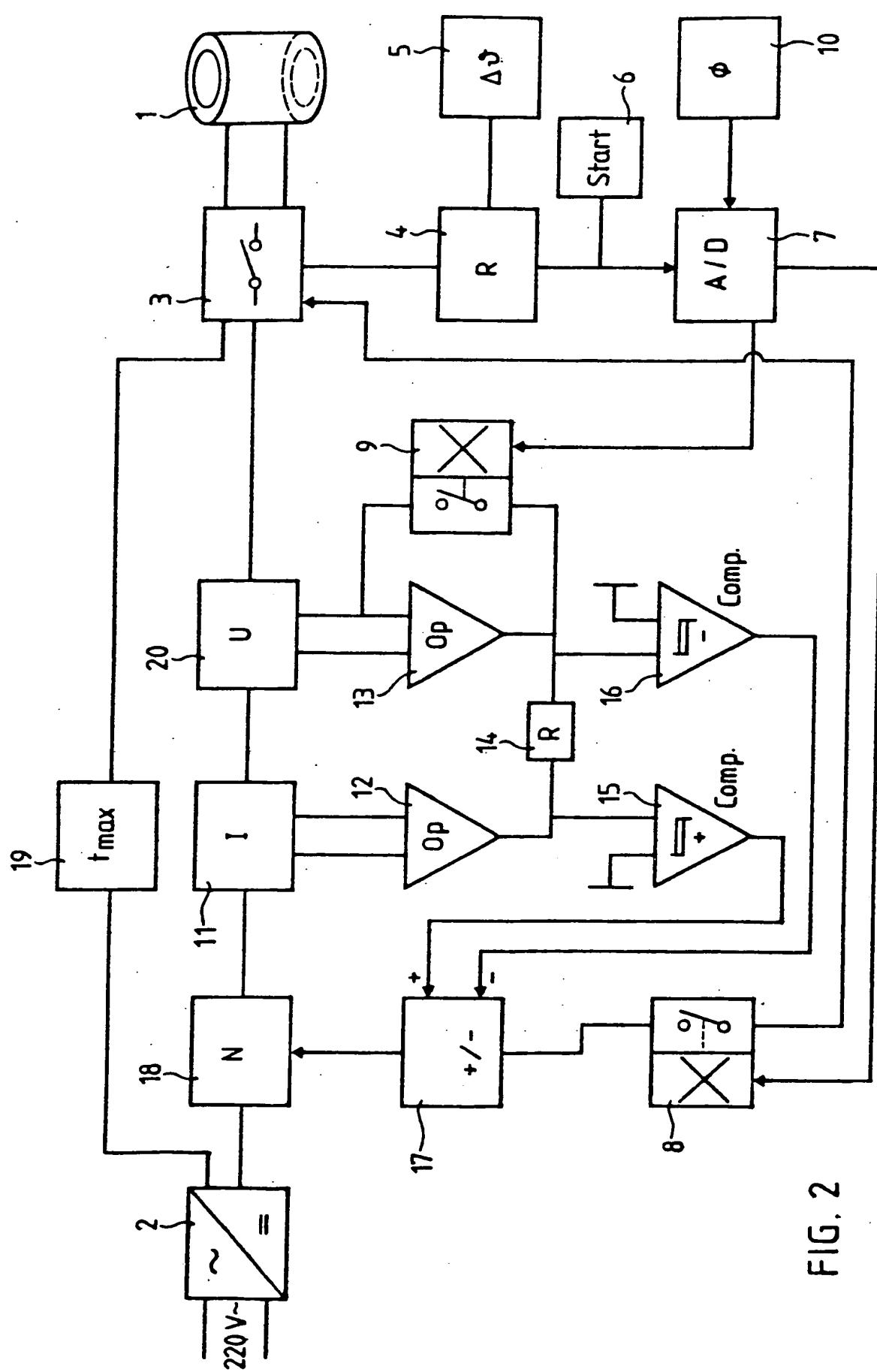


FIG. 2